

**DE2742477**

Publication Title:

Cooling system for turbogenerator rotor

Abstract:

Abstract of DE2742477

The turbogenerator rotor has a superconducting excitation winding surrounded by a rotating cold screen. A rotating mixing chamber contains a phase mixture of an externally supplied coolant. It delivers a liq. coolant flow to the excitation winding, and a second flow with partly evaporated coolant for cooling the cold screen. Coolant from the winding is fed back to the mixer, and from the cold screen out of the machine. - A component flow (A2, B2) derived from the first coolant flow (A1) after its passage through the winding (5) is added to the second flow (B1). A corresponding connecting channel (24) with a throttle (26) is provided for lowering the pressure of the derived flow (A2). Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

-----  
Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

⑤1

Int. Cl. 2:

**H 02 K 9/00**

①9 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES**



**PATENTAMT**

**DE 27 42 477 A 1**

⑪

# **Offenlegungsschrift 27 42 477**

⑫

Aktenzeichen: P 27 42 477.7-32

⑬

Anmeldetag: 21. 9. 77

⑭

Offenlegungstag: 22. 3. 79

⑮

Unionspriorität:

⑮ ⑮ ⑮

⑯

**Bezeichnung:** Anordnung zur Kühlung des Rotors einer elektrischen Maschine, insbesondere eines Turbogenerators

⑰

**Anmelder:** Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑱

**Erfinder:** Elsel, Verner, Dipl.-Phys., 8520 Erlangen

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

**DE 27 42 477 A 1**

Patentansprüche

2742477

1. Anordnung zur Kühlung des Rotors einer elektrischen Maschine, insbesondere eines Turbogenerators, mit einer supraleitenden Erregerwicklung, die von mindestens einem mitrotierenden Kälteschild umgeben ist, und mit einer mitrotierenden Mischkammer, die ein Phasengemisch eines von außen zugeführten Kühlmittels enthält und von der aus eine Entnahme eines ersten Kühlmittelstromes mit flüssigem Kühlmittel zur Kühlung der Erregerwicklung und eines zweiten Kühlmittelstromes mit zumindest teilweise verdampftem Kühlmittel zur Kühlung des Kälteschildes vorgesehen ist, und bei der eine Rückführung des durch die Erregerwicklung geleiteten ersten Kühlmittelstromes in die Mischkammer und des durch den Kälteschild geleiteten zweiten Kühlmittelstromes aus der Maschine hinaus erfolgt, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß eine Beimischung eines aus dem ersten Kühlmittelstrom ( $A_1$ ) nach dessen Durchtritt durch die Erregerwicklung (5) abgeleiteten Teilstromes ( $A_2$ ,  $B_2$ ) zu dem zweiten Kühlmittelstrom ( $B_1$ ) vorgesehen ist, und daß eine entsprechende Verbindungsleitung (24) mit einer Drosselstelle (26) zur Entspannung des abgeleiteten Teilstromes ( $A_2$ ) vorgesehen ist.
2. Anordnung zur Kühlung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Endstück der Zuführungsleitung (7) zur Einspeisung des von außen zugeführten Kühlmittels (A) in die Mischkammer (8) als Injektordüse (13) gestaltet ist, an deren Mündung nach Art einer Wasserstrahlpumpe eine Unterdruckausbildung zur Ansaugung des in die Mischkammer (8) zurückzuführenden Teilstromes ( $A_3$ ) des ersten Kühlmittelstromes ( $A_1$ ) vorgesehen ist.
3. Anordnung zur Kühlung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abführungsleitung (12) zur Rückführung des Kühlmittelteilstromes ( $A_3$ ) in die Mischkammer (8) als Ansaugkanal (14) zwischen der Injektordüse (13) und dem

909812/0577

- 14 -

ORIGINAL INSPECTED

Rotorkörper (3) ausgebildet ist. 2

2742477

4. Anordnung zur Kühlung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Drosselstelle (26) in der Verbindungsleitung (24) eine Regelung des Kühlmitteldurchsatzes vorgesehen ist.
5. Anordnung zur Kühlung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Drosselstelle (26) in der Verbindungsleitung (28, 29) an deren Ende in der Nähe der Einmündungsstelle (30) in den zweiten Kühlmittelstrom ( $B_1$ ) angeordnet ist (Fig. 3).
6. Anordnung zur Kühlung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindungsleitung (28, 29) mit einem weiteren Kälteschild (27) wärmeleitend verbunden ist.
7. Anordnung zur Kühlung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerwicklung (5) mit axial verlaufenden Kühlkanälen versehen ist und daß an den Wickelköpfen mindestens eine Zuführungsleitung (10) zur Einspeisung des ersten Kühlmittelstroms ( $A_1$ ) in diese Kanäle und an dem gegenüberliegenden Wickelkopf mindestens eine Abführungsleitung (12) zur Rückführung des ersten Kühlmittelstromes vorgesehen sind und daß sich in der Abführungsleitung (12) eine Verzweigungsstelle (23) befindet, an der die Verbindungsleitung (24) angeschlossen ist.
8. Anordnung zur Kühlung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Mischkammer (8) nach der Stirnseite (9) hin, die der Einspeisestelle des von außen zugeführten Kühlmittels (A) gegenüberliegt, konisch sich erweiternd ausgebildet ist und daß dort die Entnahme des ersten Kühlmittelstromes ( $A_1$ ) vorgesehen ist.
9. Anordnung zur Kühlung des Rotors einer elektrischen Maschine mit einer supraleitenden Erregerwicklung, die mit

909812/0577

- 15 -

2742477

- 15 -<sup>3</sup>

77 P 7 5 5 4 BRD

Stromzuführungsleitungen verbunden ist, die sich in einem Temperaturgefälle von Raumtemperatur und Tiefsttemperatur befinden, nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kühlung der Stromzuführungsleitungen eine Entnahme eines Teilstromes aus dem ersten Kühlmittelstrom ( $A_1$ ) vorgesehen ist.

10. Anordnung zur Kühlung nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch eine Entnahme des Teilstromes aus dem ersten Kühlmittelstrom ( $A_1$ ) nach dessen Durchtritt durch die supraleitende Erregerwicklung (5) (Fig. 3).

909812/0577

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
Berlin und München

Unser Zeichen  
VPA 77 P 7 5 5 4 BRD

4

Anordnung zur Kühlung des Rotors einer elektrischen Maschine,  
insbesondere eines Turbogenerators

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur Kühlung des Rotors einer elektrischen Maschine, insbesondere eines Turbogenerators, mit einer supraleitenden Erregerwicklung, die von mindestens einem mitrotierenden Kälteschild umgeben

- 5 ist, und mit einer mitrotierenden Mischkammer, die ein Phasengemisch eines von außen zugeführten Kühlmittels enthält und von der aus eine Entnahme eines ersten Kühlmittelstromes mit flüssigem Kühlmittel zur Kühlung der Erregerwicklung und eines zweiten Kühlmittelstromes mit  
10 zumindest teilweise verdampftem Kühlmittel zur Kühlung des Kälteschildes vorgesehen ist, und bei der eine Rückführung des durch die Erregerwicklung geleiteten ersten Kühlmittelstromes in die Mischkammer und des durch den Kälteschild geleiteten zweiten Kühlmittelstromes aus der Maschine  
15 hinaus erfolgt.

- Ein Turbogenerator mit einer derartigen Kühlanordnung ist aus dem Bericht "EPRI TD-255, Project 672-1, Final Report", August 1976, Seiten 45 bis 48 mit dem Titel "Superconductors  
20 in large synchronous Machines" bekannt. Das zur Kühlung erforderliche Kühlmittel wird von einer Kältemaschine aus im flüssigen Zustand und unter geringem Druck über eine rotierende Kupplung zentral durch die Rotorwelle geführt

Slm 2 Hag / 15. 9. 1977

909812/0577

und in eine dort vorhandene, achsnahe Mischkammer einge-  
leitet. Die entsprechende Einleitungsstelle ist als  
Joule-Thomson-Entspannungsverrichtung gestaltet, so daß  
sich in der Mischkammer ein Zweiphasengemisch aus flüssigem  
5 und gasförmigem Kühlmittel ausbildet. Aufgrund der bei  
Rotation auf dieses Zweiphasengemisch einwirkenden  
Zentrifugalkräfte werden der Kühlmitteldampf in achs-  
nahen und die Kühlmittelflüssigkeit in achsfernen Be-  
reichen der Mischkammer angelagert. Von der Mischkammer  
10 aus wird ein erster Kühlmittelstrom mit flüssigem Kühl-  
mittel über radiale Kanäle in ein Kühlmittelbad gepumpt,  
in dem die supraleitende Erregerwicklung angeordnet ist.  
In dem Kühlmittelbad wird die Verlustleistung der Wicklung  
an das Kühlmittel abgegeben, das über weitere radiale  
15 Kanäle wieder zurück in die Mischkammer geleitet wird. Die  
dabei mittransportierte Wärmemenge bewirkt eine teilweise  
Verdampfung des Kühlmittels. Zur Kühlung eines Kälteschildes  
ist ein zweiter Kühlmittelstrom mit aus den achsnahen Be-  
reichen der Mischkammer abgeleitetem Kühlmitteldampf vor-  
20 gesehen. Der Kälteschild stellt dabei im allgemeinen  
einen mitrotierenden Dämpferschild zwischen der Erreger-  
wicklung und einer sie umschließenden, feststehenden Ständer-  
wicklung der Maschine dar. Nachdem der zweite Kühlmittelstrom  
durch mit dem Dämpferschild wärmeleitend verbundene Kühl-  
25 kanäle geleitet worden ist, wird er über eine weitere  
rotierende Heliumkupplung in Achsnähe des Rotors aus  
diesem herausgeführt und in die Kältemaschine zurückge-  
leitet. Die erforderliche Pumpwirkung zur Ausbildung der  
Strömungen des ersten und zweiten Kühlmittelstromes wird  
30 durch den sogenannten Selbstpump-Effekt hervorgerufen.  
Dabei wird das Kühlmittel in radial nach außen geführten  
Kanälen aufgrund von zentrifugalen Kräften beschleunigt  
und kann so in die Erregerwicklung bzw. den Kälte- oder  
Dämpferschild gepumpt werden. Da es sich in diesen Bauteilen  
35 aufgrund der auftretenden Verlustleistungen oder durch Wärme-  
übertragung von außen erwärmt, nimmt sein spezifisches Ge-  
wicht entsprechend ab. Es bildet sich so zwischen der Ein-

speise- und Austrittsstelle des Kühlmittels ein Druckgefälle aus, das für eine Rückführung des Kühlmittels in achsnahe Bereiche ausreicht.

- 5 Bei der bekannten Maschine sind aber die zulässigen Dämpferverluste durch die zur Verfügung stehende Dampfmenge begrenzt. In Störungsfällen, wie beispielsweise bei plötzlichen Laständerungen, bei Schieflast oder bei Kurzschluß kann jedoch die Dämpferverlustleistung sprunghaft  
10 zunehmen. Die für eine Abführung dieser Verlustleistung zur Verfügung stehende Kühlmittelmenge des zweiten Kühlmittelstromes kann dann aber zu gering sein, um eine unzulässige Erwärmung des Dämpferschildes zu verhindern. Da diese Erwärmung des Dämpferschildes auch auf die supra-  
15 leitende Erregerwicklung zurückwirkt, besteht dann die Gefahr, daß die Erregerwicklung zu stark erwärmt wird.

- Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, eine Anordnung zur Kühlung einer solchen Maschine zu schaffen.  
20 bei der diese Gefahr nicht besteht. Insbesondere soll eine optimale Kühlung aller Rotorteile auch in Störungsfällen sicher gewährleistet sein und insbesondere der Kühlmitteldurchsatz des zweiten Kühlmittelstromes zur Kühlung des Kälte- bzw. Dämpferschildes verhältnismäßig schnell an  
25 die in dem Dämpfer auftretenden Verluste angepaßt werden können. Darüber hinaus soll die zur Kühlung des Rotors vorzusehende Kältemaschine außerhalb der elektrischen Maschine verhältnismäßig klein gehalten werden können und eine Erhöhung der Zahl an rotierenden Kühlmitteldurchführungen  
30 vermieden werden.

- Zur Lösung dieser Aufgabe ist bei einer Anordnung zur Kühlung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß eine Beimischung  
eines aus dem ersten Kühlmittelstrom nach dessen Durchtritt  
35 durch die Erregerwicklung abgeleiteten Teilstromes zu dem zweiten Kühlmittelstrom vorgesehen und ist eine entsprechende Verbindungsleitung mit einer Drosselstelle zur

Entspannung des abgeleiteten Teilstromes versehen.

- Die Vorteile dieser Gestaltung der Anordnung zur Kühlung eines Rotors bestehen insbesondere darin, daß mit Hilfe
- 5 der Drosselstelle in der Verbindungsleitung zwischen dem Kreislauf zur Kühlung der Erregerwicklung und dem Kreislauf zur Kühlung des Kälte- bzw. Dämpferschildes die in den zweiten Kühlmittelstrom zusätzlich eingeleitete Kühlmittel-
- 10 mengen den in dem Kälte- bzw. Dämpferschild auftretenden Verlusten ohne große zeitliche Verzögerung angepaßt werden kann. Da ferner die Anordnung zur Kühlung die an sich bekannte mitrotierenden Mischkammer enthält, kann der Kühlmittelmassedurchsatz der erforderlichen externen Kältemaschine verhältnismäßig gering gehalten werden. Darüber
- 15 hinaus wird vorteilhaft zur Zuführung und Ableitung des Kühlmittels in den Rotor bzw. aus diesem jeweils nur eine rotierende Kühlmitteldurchführung benötigt. Der Aufbau der Anordnung zur Kühlung ist deshalb verhältnismäßig einfach, und die Kühlmittelverluste an den Kühlmitteldurchführungen sind
- 20 entsprechend gering.

- Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Anordnung zur Kühlung kann das Endstück der Zuführungsleitung zur Einspeisung des von außen zugeführten Kühlmittels in die
- 25 Mischkammer als Düse gestaltet sein, an deren Mündung nach Art einer Wasserstrahlpumpe eine Unterdruckausbildung zur Ansaugung des in die Mischkammer zurückzuführenden Teiles des ersten Kühlmittelstromes vorgesehen ist. Durch diese Unterdruckausbildung kann die Strömung des ersten Kühlmittels
- 30 durch die supraleitende Wicklung aufgrund des Selbstpump-Effektes unterstützt werden.

- Ferner kann zweckmäßig die Drosselstelle in der Verbindungs-
- 35 leitung an deren Ende in der Nähe der Einmündungsstelle in den zweiten Kühlmittelstrom angeordnet sein. Die verhältnismäßig lange Verbindungsleitung ist dann mit dem noch nicht entspannten, kalten Kühlmittel aus dem ersten Kühlmittelteil-

strom gefüllt. Mit diesem kalten Kühlmittel in der Verbindungs-  
leitung kann so die in dem Kälte- bzw. Dämpferschild auf-  
tretende Verlustleistung mit entsprechend hohem Wirkungs-  
grad abgeführt werden. Gegebenenfalls kann deshalb auch  
5 die Verbindungsleitung mit einem weiteren Kälteschild  
wärmeleitend verbunden sein.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung und deren in den  
Unteransprüchen gekennzeichneten Weiterbildungen wird auf  
10 die Zeichnung Bezug genommen, in deren Fig. 1 ein Querschnitt  
durch eine Anordnung zur Kühlung eines Rotors gemäß der  
Erfindung schematisch veranschaulicht ist. In Fig. 2  
ist in einem Diagramm die Enthalpie dieser Anordnung in  
Abhängigkeit von der Entropie dargestellt. Fig. 3 zeigt  
15 schematisch eine weitere Ausbildungsmöglichkeit einer An-  
ordnung zur Kühlung gemäß der Erfindung.

Aus Fig. 1 ist die Führung eines Kühlmittels durch den Rotor  
einer elektrischen Maschine, insbesondere eines Turbogenerators,  
20 ersichtlich. In der Figur ist nur die obere Hälfte der ent-  
sprechenden Kühlanordnung als Querschnitt dargestellt. Die  
Strömungsrichtungen der einzelnen Kühlmittelströme sind  
dabei durch Pfeile veranschaulicht. Die zu kühlenden,  
rotierenden Teile der Maschine sind in einem Vakuum ange-  
25 ordnet, um so eine Wärmeeinleitung von außen auf diese Teile  
zu begrenzen. Ein dafür erforderliches mitrotierendes  
Vakuumgehäuse ist durch eine gestrichelte Linie 2 ange-  
deutet. Der Rotorkörper 3 der Maschine ist konzentrisch  
um eine Achse 4 gelagert und enthält eine Erregerwicklung 5,  
30 die beispielsweise in Nuten auf seiner Außen- oder Innenseite  
angeordnet ist. Die Leiter der Wicklung 5 enthalten supra-  
leitendes Material, so daß als Kühlmittel Helium vorgesehen  
ist. Das mit A bezeichnete Kühlmittel, das sich im flüssigen  
Zustand befindet und einer in der Figur nicht dargestellten  
35 Kältemaschine entnommen wird, kann über eine Helium-Kupplung 6  
in den Rotor eingeleitet werden. Mit Hilfe einer solchen  
Heliumkupplung, die beispielsweise aus der Veröffentlichung

- "Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte", Bd. 5 (1976), Nr. 1, Seite 13 bekannt ist, wird das Kühlmittel A von feststehenden auf rotierende Maschinenteile überführt. Über eine zentral in dem Rotor angeordnete Zuführungsleitung 7 wird dann das Kühlmittel A in eine innerhalb des Rotorkörpers 3 angeordnete Mischkammer 8 eingeleitet, wobei es sich entspannt und so teilweise verdampft. In dieser ebenfalls zentral angeordneten Mischkammer 8 befindet sich also ein Phasengemisch aus flüssigem Kühlmittel  $A_0$  und gasförmigem Kühlmittel  $B_0$ . Unter Einfluß zentrifugaler Kräfte bei Rotation erfolgt jedoch eine Phasentrennung, so daß sich das schwerere flüssige Kühlmittel  $A_0$  konzentrisch um das längs der Rotorachse 4 gehaltene Kühlmittel  $B_0$  anlagert. An der Stirnseite 9 des Rotorkörpers 3, die der Einspeisestelle des Kühlmittels A in die Mischkammer 8 gegenüberliegt, ist am Außenumfang der Mischkammer mindestens eine radial verlaufende Kühlmittel-zuführungsleitung 10 angeschlossen, über die ein erster Kühlmittelstrom  $A_1$  an flüssigem Kühlmittel der supraleitenden Erregerwicklung 5 zugeführt wird. Die in der Figur nicht näher ausgeführte Erregerwicklung ist mit axial verlaufenden Kühlkanälen durchsetzt, so daß der Kühlmittelstrom  $A_1$  an der gegenüberliegenden Stirnseite 11 des Rotorkörpers 3 aus der Wicklung wieder austritt. Über mindestens eine radial verlaufende Abführungsleitung 12 wird dann ein Teilstrom  $A_3$  des ersten Kühlmittelstroms  $A_1$  wieder in die Mischkammer 8 zurückgeleitet.

- In diesem Kreislauf zur Kühlung der supraleitenden Erregerwicklung 5 wird der sogenannten Selbstpump-Effekt ausgenutzt. Aufgrund der zentrifugalen Kräfte bei Rotation wird zunächst das Kühlmittel  $A_1$  in der radialen Kühlmittelzuführungsleitung 10 nach außen hin beschleunigt und so in die Kanäle der supraleitenden Wicklung 5 gedrückt. Dort erwärmt es sich aufgrund der in der Wicklung entstehenden Verlustleistungen. Die damit verbundene Reduzierung des spezifischen Gewichtes des Kühlmittels  $A_1$  bewirkt eine Druckverminderung, aufgrund derer es in die Mischkammer 8 über die radial verlaufende Ab-

führungsleitung 12 wieder zurückfließen kann. Die Einspeisung des flüssigen Kühlmittels in die Kühlmittelzuführungsleitung 10 wird noch dadurch begünstigt, daß sich die Mischkammer 8 zu der Stirnseite 9 des Rotorkörpers 3 hin, an der die Kühlmittelzuführungsleitung 10 angeschlossen ist, konisch erweitert und so der Druck in der Kühlmittelflüssigkeit  $A_0$  in der Mischkammer nach dieser Seite hin entsprechend vergrößert ist. Außerdem wird mit dieser Maßnahme auch die Trennung der Phasen des Phasengemischs in der Mischkammer 8 erleichtert. Die Zurückführung des Kühlmittels in die Mischkammer 8 kann ferner dadurch unterstützt werden, daß das Endstück der zentralen Kühlmittelzuführungsleitung 7, an der das aus der externen Kältemaschine entnommene Kühlmittel A in die Mischkammer 8 eingeleitet wird, als Injektordüse 13 gestaltet ist, so daß das Kühlmittel A mit einer erhöhten Strömungsgeschwindigkeit aus dieser Zuleitung 7 in die Mischkammer 8 austritt. Gemäß dem Konstruktionsprinzip einer Wasserstrahlpumpe kann dann der sich seitlich von dem austretenden Kühlmittelstrahl ausbildende Unterdruck dazu verwendet werden, den in der Kühlmittelabführungsleitung 12 zurückgeleiteten Kühlmittelstrom  $A_1$  bzw.  $A_3$  anzusaugen. Das Ende dieser Kühlmittelabführungsleitung 12 ist deshalb als ein entsprechender, die Mündung der Injektordüse 13 eng umschließender Ansaugkanal 14 gestaltet.

Das in der Mischkammer 8 im achsnahen Bereich angeordnete gasförmige Kühlmittel  $B_0$  wird teilweise zur Kühlung eines die Erregerwicklung 5 konzentrisch umschließenden Kälteschildes 15 ausgenutzt. Dieser in der Figur nur teilweise ausgeführte Kälteschild dient dabei im allgemeinen auch als Dämpferschild oder -wicklung, mit dem von einem in der Figur nicht dargestellten, den Rotor eng umschließenden Stator ausgehende Rückwirkungsfelder, die durch das mitrotierende Vakuumgehäuse 2 hindurchdringen, auf einen für die Supraleiter der Erregerwicklung 5 erträglichen Betrag vermindert werden. An der Stirnseite 9 des Rotorkörpers 3

wird deshalb an einer achsnahen Stelle ein zweiter Kühlmittelstrom  $B_1$  mit Kühlmitteldampf aus der Mischkammer 8 entnommen und über mindestens eine radial angeordnete Zuführungsleitung 16 in Kühlkanäle 17 geleitet, die mit dem Kälte- bzw. Dämpferschild 15 wärmeleitend verbunden sind und in axialer Richtung verlaufen. Am gegenüberliegenden, der Stirnseite 11 des Rotorkörpers 3 zugewandten Ende des Kälte- bzw. Dämpferschildes 15 wird dann der zweite Kühlmittelstrom wieder in mindestens einer radial verlaufenden Kühlmittelableitung 18 abgeleitet und in Achsnähe über eine weitere rotierende Heliumkupplung 19 von den rotierenden Maschinenteilen in eine ortsfeste Gasleitung 20 eingeleitet, die mit der in der Figur nicht dargestellten Kältemaschine verbunden sein kann. In der Figur ist noch eine weitere rotierende Heliumkupplung 21 angedeutet, mit der die an den rotierenden Kupplungsteilen entstehenden Leckage-Verluste an gasförmigem Helium aufgefangen und in die Gasleitung 20 mit eingespeist werden können.

20 Die Strömung in diesem Kreislauf mit dem zweiten Kühlmittelstrom zur Kühlung des Kälte- bzw. Dämpferschildes 15 erfolgt ebenfalls aufgrund des Selbstpump-Effektes.

Um in dem Kälte- bzw. Dämpferschild 15 plötzlich auftretende zusätzliche Verlustleistungen, wie sie beispielsweise in einem Störfall bei einem Kurzschluß oder bei Schiefelast entstehen, abführen zu können, ist bei der Anordnung zur Kühlung gemäß der Erfindung vorgesehen, daß in den Kühlmittelkreislauf zur Kühlung des Kälte- bzw. Dämpferschildes zusätzlich gasförmiges Kühlmittel eingespeist werden kann. Dieses Kühlmittel wird dem Kreislauf zur Kühlung der supraleitenden Wicklung 5 entnommen. Die entsprechende Abzweigestelle 23 in diesem Kreislauf ist zweckmäßig in der Abführungsleitung 12 des ersten Kühlmittelstromes  $A_1$  vorgesehen. Von dort aus wird ein Teil dieses ersten Kühlmittelstromes  $A_1$  in eine entsprechende Verbindungsleitung 24 abgeleitet. Dieser Teilstrom an flüssigem Kühlmittel ist mit

- $A_2$  bezeichnet. Die Verbindungsleitung 24 mündet in die Kühlmittelzuführungsleitung 16 des zweiten Kühlmittelstromes  $B_1$  unmittelbar vor dessen Eintritt in die Kühlkanäle 17 an dem Kälte- bzw. Dämpferschild 15. Die Einmündungsstelle
- 5 in der Zuführungsleitung 16 ist mit 25 bezeichnet. In der Verbindungsleitung 24 ist außerdem noch eine Drosselstelle 26 vorgesehen, mit welcher der aus dem Kühlkreislauf für die supraleitende Wicklung 5 stammende, noch flüssige Kühlmittelteilstrom  $A_2$  entspannt und somit verdampft
- 10 werden kann. Der so enthaltene Kühlmitteldampf des Teilstromes ist mit  $B_2$  bezeichnet. Die in den zweiten Kühlmittelstrom  $B_1$  eingespeiste Menge des Teilstromes  $B_2$  kann dabei mit Hilfe der Drosselstelle 26 eingestellt werden. Die vereinigten Kühlmittelströme  $B_1$  und  $B_2$  sind in der
- 15 Figur mit  $B_3$  bezeichnet.

- Zur Erläuterung der thermodynamischen Kühlmittelzustände bei der Kühlung der supraleitenden Erregerwicklung 5 und des Kälte- bzw. Dämpferschildes 15 wird auf das Diagramm in
- 20 Fig. 2 Bezug genommen, in dem auf der Abszisse die Entropie  $s$  der Kühlanordnung gemäß der Erfindung in Joule/Gramm·Kelvin und auf der Ordinate die Enthalpie  $h$  in Joule/Gramm aufgetragen sind. In dem Diagramm ist ferner eine erste Kurvenschar mit gestrichelten Kurven eingetragen, die jeweils
- 25 einer konstanten Temperatur zwischen 3 und 8 Kelvin zugeordnet sind. Darüber hinaus ist in dem Diagramm eine weitere Kurvenschar von durchgezogenen, dünnen Linien eingezeichnet, die jeweils einem vorbestimmten, konstanten Druck zwischen 0,1 und 25 bar zugeordnet sind. Durch dick
- 30 eingetragene, gepfeilte Linien sind die sich innerhalb der Kühlanordnung gemäß Fig. 1 ergebenden thermodynamischen Übergänge veranschaulicht. Die Bezugspunkte für diese Übergänge sind in Fig. 1 und in dem Diagramm durch kleine Buchstaben gekennzeichnet.

35

Eine aus der Kältemaschine entnommene, vorbestimmte und verhältnismäßig kleine Menge  $m_0$  an flüssigem Kühlmittel A hat

- im Zustand a an der Heliumkupplung 6 beispielsweise eine Temperatur von 4,2 K und steht unter einem Druck von 1 bar. Die Enthalpie  $h$  des Kühlmittels A beträgt dabei beispielsweise etwa 9,3 J/g und seine Entropie  $s$  etwa 3,3 J/gK.
- 5 Das Kühlmittel A gelangt dann durch Joule-Thomson-Entspannung an der Injektordüse 13 in das Heliumbad in der Mischkammer 8. Dabei nimmt es bei dem Austritt aus der Injektordüse den Zustand b an. Unter Einwirkung der bei Rotation auftretenden zentrifugalen Kräfte werden dann
- 10 Dampf und Flüssigkeit in dem rotierenden Bad in der Mischkammer 8 getrennt, so daß das Kühlmittel  $A_0$  dann den Zustand c und das gasförmige Kühlmittel  $B_0$  den Zustand d einnehmen. Eine Menge  $m_1$  des ersten, aus der Mischkammer 8 abgeleiteten Kühlmittelteilstromes  $A_1$  zur Kühlung der
- 15 supraleitenden Wicklung 5 wird bei der radialen Strömung in der Zuführungsleitung 10 isentrop verdichtet und nimmt bei Eintritt in die supraleitende Wicklung 5 den Zustand e ein. Diesem Kühlmittelstrom  $A_1$  wird dann innerhalb der supraleitenden Wicklung deren Verlustleistung zugeführt,
- 20 so daß er sich bei Austritt an dem gegenüberliegenden Wickelkopf im Zustand f befindet. Die Menge  $m_1$  des Kühlmittelstromes  $A_1$  stellt sich bei vorgegebener Geometrie der Zu- und Abführungsleitung 10 bzw. 12 und der Kanäle in der Erregerwicklung 5 in Abhängigkeit von dem Druckabfall
- 25 und den Verlusten der Erregerwicklung selbsttätig ein. Eine Teilmenge  $m_3$  dieses ersten Kühlmittelstromes wird in das Kühlmittelbad zurückgeführt. Bei der radialen Strömung zur Achse innerhalb der Abführungsleitung 12 expandiert dieser Kühlmittelteilstrom  $A_3$  dabei isentrop
- 30 und nimmt vor Eintritt in die Mischkammer den Zustand g an. Aufgrund der besonderen Gestaltung der Rückführungsstelle dieses verbleibenden Teilstromes  $A_3$  in die Mischkammer 8 gemäß dem Konstruktionsprinzip einer Wasserstrahlpumpe expandiert dieser Teilstrom über eine Joule-Thomson-
- 35 Entspannung in das rotierende Bad in der Mischkammer 8, so daß sich der Teilstrom  $A_3$  dann im Zustand i befindet.

Der aus der Mischkammer 8 entnommene Kühlmittelstrom  $B_1$  mit einer Masse  $m_4$  an gasförmigem Kühlmittel zur Kühlung des Kälte- bzw. Dämpferschildes 15 wird bei der radialen Strömung zu diesem Schild hin isentrop in der Zuführungs-  
 5 leitung 16 verdichtet. Er hat an der Einspeisestelle 25 des aus dem Kreislauf für die supraleitende Wicklung 5 stammenden Teilstromes  $B_2$  den Zustand j angenommen. Dieser Teilstrom  $B_2$ , der die Masse  $m_2$  hat, wird in der Abführungs-  
 10 leitung 12 bis zu der Abzweigstelle 23 und dann in der Verbindungsleitung 24 bis zu der Drosselstelle 26 isentrop verdichtet, so daß er sich vor der Drosselstelle im  
 Zustand k befindet. Innerhalb der Drosselstelle expandiert er in einer Joule-Thomson-Entspannung annähernd auf den  
 15 Druck, der an der Einspeisestelle 25 in den Kreislauf für den Kälte- bzw. Dämpferschild 15 herrscht und befindet sich so hinter der Drosselstelle in einem Zustand m. An dieser Einspeisestelle mischen sich dann der Kühlmittel-  
 strom  $B_1$  an gasförmigem Kühlmittel aus der Mischkammer 8 und der Kühlmittelteilstrom  $B_2$  aus dem Kreislauf für die  
 20 supraleitende Wicklung 5 zu dem Kühlmittelstrom  $B_3$  mit der Masse  $m_0$ . Der Eintrittszustand dieses Kühlmittel-  
 stromes  $B_3$  in die Kühlkanäle 17 des Kälte- bzw. Dämpfer-  
 schildes 15 ist mit n bezeichnet. Die Verlustleistung des Kälte- bzw. Dämpferschildes wird dann von diesem Kühlmittel-  
 25 strom  $B_3$  aufgenommen, so daß bei seinem Wiederaustritt aus dem Kälte- bzw. Dämpferschild dann der Zustand p eingenommen wird. Dabei ist im Diagramm auch der Druckabfall durch  
 den Strömungswiderstand innerhalb des Kälte- bzw. Dämpfer-  
 schildes berücksichtigt. In der Abführungsleitung 18 expandiert  
 30 dann der Kühlmittelstrom  $B_3$  bei der radialen Strömung zur Achse hin und tritt mit dem Zustand q aus der Helium-Kupplung 19 in die Transferleitung 20 zu der Kältemaschine ein. Der  
 Druck und die Temperatur des rotierenden Bades in der Mischkammer können dabei durch den Austrittszustand q des  
 35 Kühlmittelstromes  $B_3$  mit der Masse  $m_0$  festgelegt werden.

- In Fig. 3 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Kühlanordnung gemäß der Erfindung für den Rotor einer elektrischen Maschine als Querschnitt teilweise veranschaulicht. Mit der Kühlanordnung gemäß Fig. 1 übereinstimmende Teile sind dabei mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Diese Kühlanordnung unterscheidet sich von der gemäß der Ausführungsform nach Fig. 1 im wesentlichen nur dadurch, daß der aus dem Kühlkreislauf für die supraleitende Wicklung aus der Rückführungsleitung 12 abgezweigte Teilstrom  $A_2$  zunächst zur Kühlung eines weiteren, in der Figur durch eine gestrichelte Linie angedeuteten Dämpferschildes 27 in axialen Kanälen 28 und 29 herangezogen wird. Außerdem ist erst unmittelbar vor einer Einmündungsstelle 30 in den den Dämpferschild 15 kühlenden Kühlmittelstrom  $B_1$  die Drosselstelle 26 zur Entspannung des Teilstromes vorgesehen. Die Einmündungsstelle 30 liegt dabei in einer Rückführungsleitung 32 für den Kühlmittelstrom  $B_1$  nach dessen Durchlaufen des Dämpferschildes 15.
- In der Figur sind ferner zwei Stromübertragungsvorrichtungen 34 und 35 auf dem mit der Stirnseite 11 des Rotorkörpers 3 verbundenen, sich nach außen hin erstreckenden Wellenteil 36 angedeutet. Über Bürstenkontakte dieser Stromübertragungsvorrichtungen kann ein Erregerstrom der supraleitenden Erregerwicklung 5 von einer externen, in der Figur nicht dargestellten Stromversorgungseinheit zugeführt werden. Die Stromübertragungsvorrichtungen 34 und 35 liegen auf Raumtemperatur, so daß die in der Figur nicht ausgeführten elektrischen Verbindungsleitungen zwischen ihnen und der tiefstgeköhlten Erregerwicklung 5 ein entsprechendes Temperaturgefälle durchlaufen müssen. Das zur Abkühlung dieser Verbindungsleitungen erforderliche Kühlmittel wird dem ersten Kühlmittelstrom  $A_1$  nach dessen Durchtritt durch die Erregerwicklung an der Abführungsleitung 12 über eine Abgasleitung 38 entnommen.

10 Patentansprüche

3 Figuren

Nummer: 27 42 477  
 Int. Cl. 2: H 02 K 9/00  
 Anmeldetag: 21. September 1977  
 Offenlegungstag: 22. März 1979

17  
 2742477

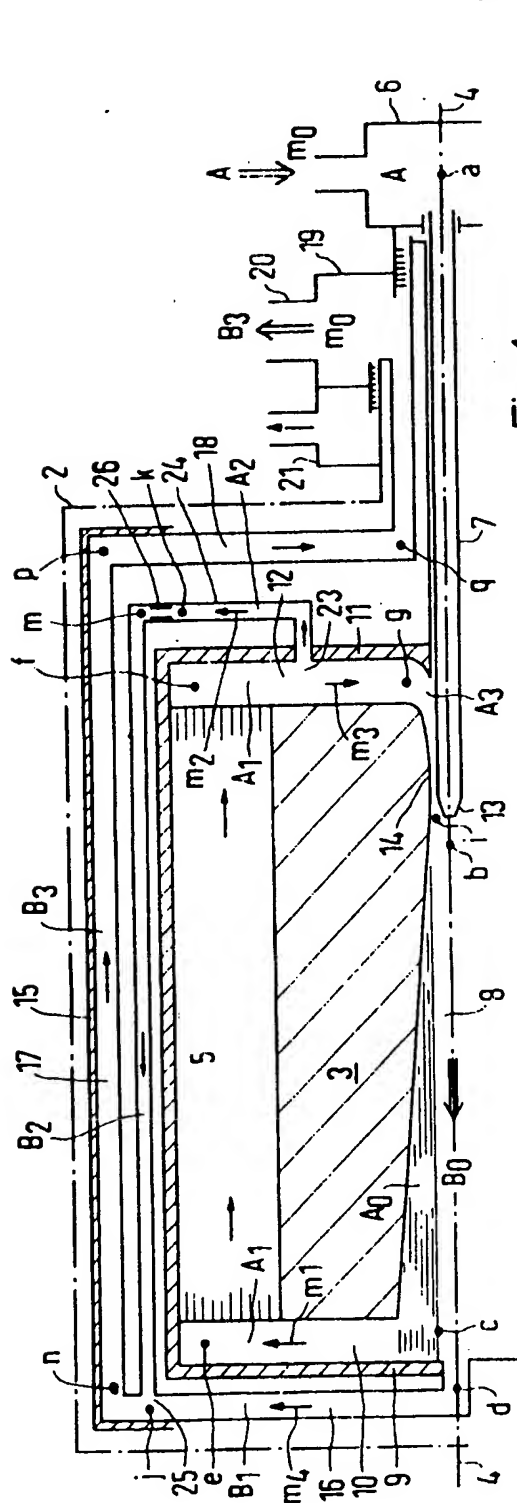


Fig. 1

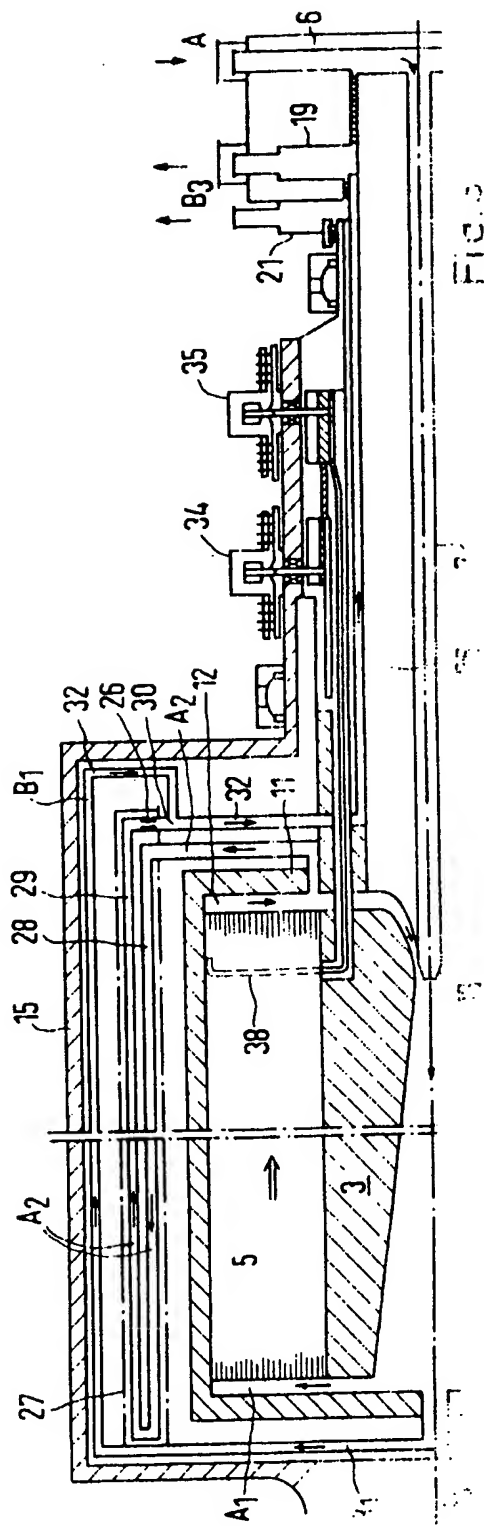


Fig. 2

909812/0577

16

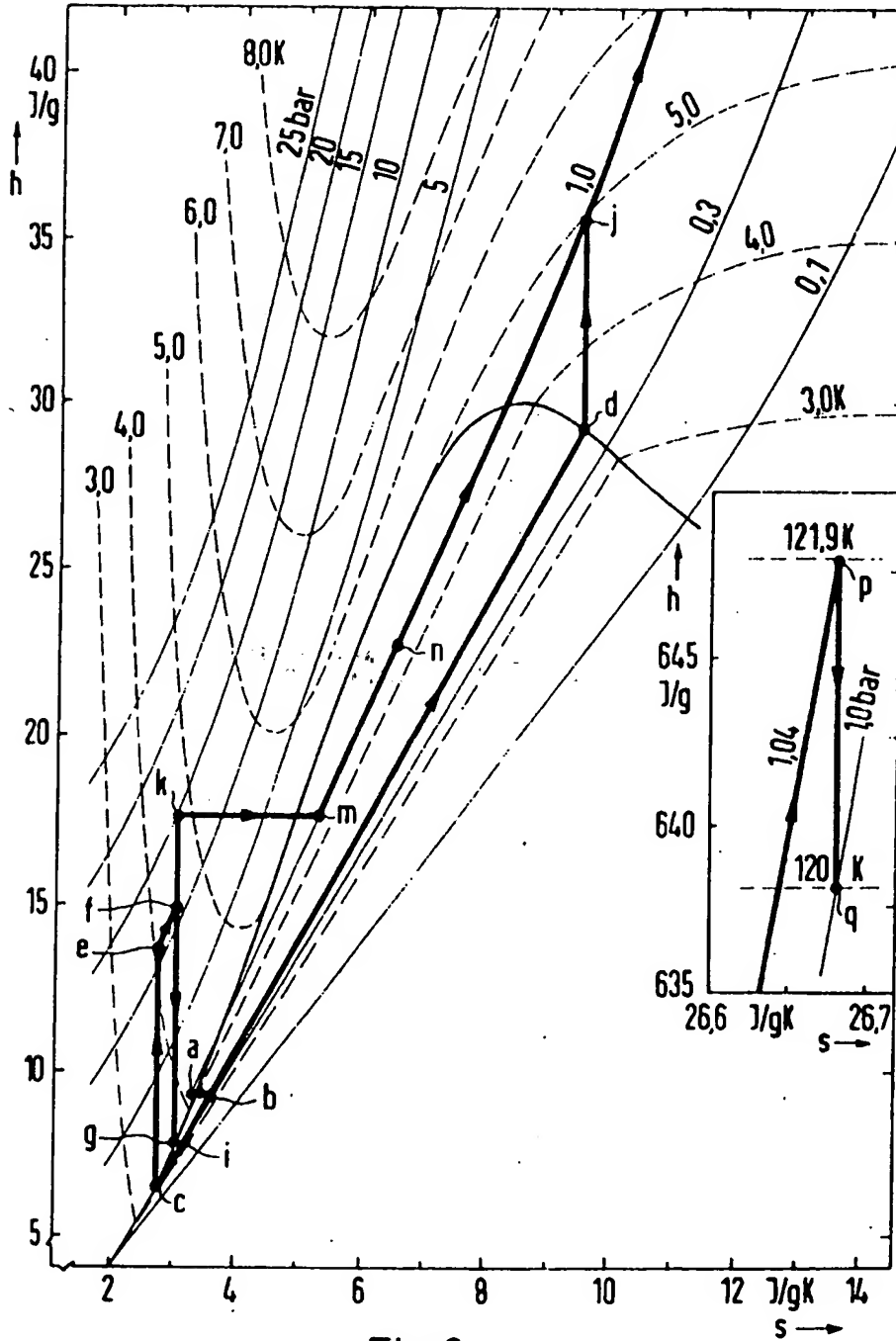


Fig.2

909812/0577

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINE(S) OR MARK(S) ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**